

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ  
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ  
Відділ аспірантури при ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

академік НАН України



С.І. Кучук-Яценко  
(ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

**ТЕРМОДИНАМІКА І КІНЕТИКА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ**

шифр навчальної дисципліни за ОНП 3/І  
(назва кредитного модуля)

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**кредитного модуля**

рівень вищої освіти – доктор філософії з металургії  
форма навчання – денна  
спеціальність – 136 – металургія  
галузь знань – 13 – механічна інженерія  
освітня програма – Металургія

Затверджено на випускному  
відділі за спеціальністю 136  
«Металургія»

Інституту електрозварювання  
ім. Є.О. Патона НАН України  
Протокол №1 від 3.07.2020 р.  
Завідувач випускового відділу  
чл.-кор. НАН України, проф.

 В.О. Шаповалов

Київ – 2020 р.

Робоча програма кредитного модуля:

«Термодинаміка і кінетика металургійних процесів»  
(назва кредитного модуля)

складена відповідно до програми навчальної дисципліни

«Термодинаміка і кінетика металургійних процесів», ОНП 3/1  
(назва навчальної дисципліни та код за ОП)

Розробники робочої програми:

Зав. відділу плазмово-шлакової металургії Інституту  
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

д.т.н., чл-кор., проф. Шаповалов Віктор Олександрович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Зав. відділу металургії і зварювання титанових сплавів Інституту  
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

д.т.н., чл-кор., проф. Ахонін Сергій Володимирович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Провідний науковий співробітник відділу плазмово-шлакової  
металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ  
д.т.н., Біктагіров Фаріт Камілович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Старший науковий співробітник відділу плазмово-шлакової  
металургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

к.т.н. Якуша Володимир Вікторович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

## 1. Опис кредитного модуля

Рівень ВО, спеціальність, освітня програма, форма навчання	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Рівень ВО <b><u>Третій (доктор філософії)</u></b>	Назва дисципліни <b><u>Термодинаміка і кінетика металургійних процесів</u></b>	Лекції <b><u>36 год.</u></b>
Спеціальність <b><u>136 – Металургія</u></b> (шифр і назва)	Цикл (загальної/професійної підготовки)	Практичні (семінарські) <b><u>18</u></b> год.
Освітня програма <b><u>ОНП З/Л , Термодинаміка і кінетика металургійних процесів</u></b> (ОПП, ОНП, назва)	Статус кредитного модуля <b><u>Обов'язковий</u></b> (обов'язковий, вибірковий)	Лабораторні роботи _____ год.
		Самостійна робота <b><u>96</u></b> год., у тому числі на виконання індивідуального завдання <b><u>0</u></b> год.
	Семестр <b><u>1</u></b>	Індивідуальне завдання <b><u>-</u></b> (вид)
Форма навчання <b><u>Денна</u></b> (денна, заочна)	Кількість кредитів (годин) <b><u>5/150</u></b>	Вид та форма семестрового контролю <b><u>Екзамен</u></b> (екзамен / залік; усний / письмовий / тестування тощо)

Металургія – хімія високих температур. Знання фізико-хімічних процесів дозволяє удосконалювати існуючі та створювати новітні технологічні процеси. Озброєння металургії законами термодинаміки вивело цей вид діяльності з ремесла в науково обґрунтований, високотехнологічний вид діяльності.

Доктор філософії з металургії як фахівець повинен мати глибокі теоретичні знання і володіти відповідними навичками використання фундаментальних знань для їх застосування при одержанні високоякісних, з підвищеними властивостями металів та сплавів.

Даний курс має велике значення для формування майбутнього доктора філософії з металургії, розширює технологічні можливості фахівця. Кредитний модуль пов'язаний з дисциплінами «**Фізика рідкого стану і металургійна спадковість**

### 2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування в аспірантів здатностей:

– здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (код ЗК 7);

– здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження (код ЗК 12);

– здатність узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, на основі фундаментальних та спеціальних знань синтезувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення (код ФК 5);

– здатність проводити наукові дослідження в металургійній галузі на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (код ФК 13);

– здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в металургійній галузі знань для вирішення наукових і практичних проблем (код ФК 15).

## 2.2. Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

### знання:

– Передових концептуальних та методологічних знань з металургії та на межі предметних галузей, а також дослідницьких навичок для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень (код ЗН 1);

– методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем у широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач, у тому числі за умов невизначеності чи неповної інформації (код ЗН 4);

– новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі металургія та суміжних сферах (код ЗН 5);

– сучасної вітчизняної та зарубіжної науково-технічної інформації в професійній сфері діяльності (код ЗН 12);

– сучасних теорій, положень, методів досліджень у металургійній галузі (код ЗН 14);

– термодинаміки та кінетики металургійних процесів (код ЗН 15).

### уміння:

– використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані (код УМ 2);

– застосовувати аналіз та синтез знань під час вирішення проблем в широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач за умов невизначеності чи неповної інформації (код УМ 7);

– постійно удосконалювати свій загальний інтелектуальний та професійний рівень (код УМ 18);

– розробляти нові методики досліджень у галузі металургії (код УМ 26);

– планувати і проводити аналітичні, імітаційні та експериментальні дослідження, критично оцінювати дані і робити висновки (код УМ 27);

– проводити наукові дослідження на основі сучасних теорій термодинаміки, кінетики металургійних процесів, фізики рідкого стану і структуроутворення металів і сплавів (код УМ 29).

## 3. Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабора- торні	СР аспіранта
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ I Вступ. Основні поняття</b>					
Тема 1.1 Завдання і зміст курсу. Термодинамічні системи.	4	2			2
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
<b>Розділ II Перший, другий і третій закони термодинаміки</b>					
Тема 2.1 Природа теплоти. Перший закон термодинаміки.					

1	2	3	4	5	6
Тема 2.2 Другий закон термодинаміки й поняття ентропії.	8	2	2		4
Тема 2.3 Роль ентропії в хімічних реакціях.					
Тема 2.4 Третій закон термодинаміки.	8	2	2		4
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>8</b>
<b>Розділ III Рівноважна термодинаміка</b>					
Тема 3.1 Принципи екстремумів і загальні термодинамічні співвідношення.	4	2			2
Тема 3.2 Основи термодинаміки газів, рідин і твердих тіл.	8	2	2		4
Тема 3.3 Фазові переходи.	8	2	2		4
Тема 3.4 Розчини.	8	2	2		4
Тема 3.5 Хімічні перетворення.	4	2			2
Тема 3.6 Термодинаміка випромінювання.	4	2			2
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>42</b>	<b>12</b>	<b>6</b>		<b>22</b>
<b>Розділ IV Флуктуації і стійкість</b>					
Тема 4.1 Теорія стійкості Гіббса.					
Тема 4.2 Критичні явища і конфігураційна теплоємність.	4	2			2
Тема 4.3 Стійкість і флуктуації, засновані на виробництві ентропії.	4	2			2
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>8</b>	<b>4</b>			<b>4</b>
<b>Розділ V Лінійна нерівноважна термодинаміка</b>					
Тема 5.1 Нерівноважна термодинаміка. Основні положення.	4	2			2
Тема 5.2 Нерівноважна термодинаміка. Лінійний режим.					
Тема 5.3 Нерівноважні стаціонарні стани і їх стійкість. Лінійний режим.	8	2	2		4
<i>Модульна контрольна робота</i>	12				12
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>18</b>
<b>Розділ VI Порядок через флуктуації</b>					
Тема 6.1 Нелінійна термодинаміка.	8	2	2		4
Тема 6.2 Дисипативні структури.	8	2	2		4
<b>Разом за розділом 6</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>8</b>
<b>Розділ VII Кінетика хімічних реакцій</b>					
Тема 7.1 Кінетика гомогенних хімічних реакцій.	4	2			2
Тема 7.2 Ланцюгові реакції.	4	2			2
Тема 7.3 Теорія гетерогенних реакцій.	8	2	2		4

1	2	3	4	5	6
<b>Разом за розділом 7</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>2</b>		<b>8</b>
Підготовка до екзамену	30				30
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	<b>18</b>		<b>96</b>

#### 4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СР з посиланням на літературу)
1	<p>Завдання і зміст курсу. Термодинамічні системи. Загальні положення. Короткий історичний аналіз розвитку термодинаміки і кінетики й застосування в металургійних процесах. Рівноважні і нерівноважні системи. Температура, теплота, теплоємність і кількісні газові закони. Стан речовини й рівняння Ван дер Ваальса(2 години).</p> <p>Література основна: [1, 2] Література допоміжна: [1-3]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>ізолювані, закриті і відкриті . термодинамічних систем ;</i></li> <li>- <i>рівноважні и нерівноважні системи;</i></li> <li>- <i>температура, кількість теплоти, теплоємність <math>C_p</math> та <math>C_v</math>;</i></li> <li>- <i>рівняння Ван дер Ваальса.</i></li> </ul>
2	<p>Природа теплоти. Перший закон термодинаміки. Збереження енергії. Додатки першого початку термодинаміки до металургії. Термохімія. Закон Гесса. Збереження енергії в хімічних реакціях. Ступінь повноти протікання реакції. Хімічна змінна(1 година).</p> <p>Література основна: [1, 2] Література допоміжна: [1-3 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>робота, внутрішня енергія, ;</i></li> <li>- <i>тепловий ефект реакції, закон Гесса;</i></li> <li>- <i>Ступінь повноти протікання хімічної реакції.</i></li> </ul>
3.	<p>Другий закон термодинаміки й поняття ентропії. Передумови виникнення другого закону термодинаміки. Абсолютна шкала температур. Ентропія в зворотних і незворотних процесах. Приклади змінення ентропії, що викликані незворотними процесами. Зміни ентропії, що викликані фазовими переходами. Ентальпія ідеального газу. Деякі зауваження відносно другого закону термодинаміки й незворотних процесів (1 година).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [1-4]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>абсолютна шкала температур;</i></li> <li>- <i>ентропія незворотних процесів;</i></li> <li>- <i>ентальпія ідеального газу.</i></li> </ul>
4.	<p>Роль ентропії в хімічних реакціях. Хімічний потенціал і хімічна спорідненість - рушійна сила хімічних реакцій. Загальні властивості хімічної спорідненості. Виробництво ентропії, обумовлене дифузєю. Загальні властивості ентропії (1 година).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [1-4]</p>

	<p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>хімічний потенціал і хімічна спорідненість;</i></li> <li>- <i>загальні властивості ентропії.</i></li> </ul>
5.	<p>Третій закон термодинаміки. Тепловий закон Нернста. Вироджений стан. Значення <math>C_p</math> і <math>C_v</math> при наближенні значення температури до абсолютного нуля (1 година).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1-4]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>тепловий закон Нернста;;</i></li> <li>- <i>вироджений стан;;</i></li> <li>- <i>значення <math>C_p</math> і <math>C_v</math> при наближенні значення температури до абсолютного нуля.</i></li> </ul>
6.	<p>Принципи екстремумів і загальні термодинамічні співвідношення. Принципи екстремумів у природі. Принципи екстремумів і другий закон термодинаміки. Загальні термодинамічні співвідношення. Вільна енергія Гіббса утворення і хімічний потенціал. Співвідношення Максвелла. Екстенсивні властивості і парціальні молярні величини. Поверхневий натяг (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2]. Література допоміжна: [1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>загальні термодинамічні співвідношення;</i></li> <li>- <i>енергія Гіббса;</i></li> <li>- <i>поверхневий натяг.</i></li> </ul>
7.	<p>Основи термодинаміки газів, рідин і твердих тіл. Термодинаміка ідеальних газів. Термодинаміка реальних газів. Термодинамічні величини і співвідношення для чистих рідин і твердих тіл (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [1-4]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>термодинаміка ідеальних газів ;</i></li> <li>- <i>відмінність реальних газів від ідеальних .</i></li> </ul>
8.	<p>Фазові переходи. Фазова рівновага і фазові діаграми. Правило фаз Гіббса і теорема Дюгема. Двокомпонентні і трикомпонентні системи. Побудова Максвелла і правило важеля (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [1-4]</p> <p>Завдання на СР аспіранту:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>фазові діаграми;</i></li> <li>- <i>правило фаз;</i></li> <li>- <i>багатокомпонентні системи.</i></li> </ul>
9.	<p>Розчини. Ідеальні і неідеальні розчини. Колігативні властивості. Розчинність і умови термодинамічної рівноваги. Функція змішування і надлишкові функції. Азеотропія (2 години).</p> <p>Література основна: [1,3] Література допоміжна: [ 1-4]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>швидкість хімічної реакції;</i></li> <li>- <i>закон діючих мас;</i></li> <li>- <i>азеотропні рідини, основні властивості, можливість розділення.</i></li> </ul>
10.	<p>Хімічні перетворення. Перетворення речовини. Швидкості хімічних реакцій. Хімічна рівновага і закон діючих мас. Принцип детальної рівноваги. Виробництво ентропії в хімічних реакціях(2 години).</p>

	<p>Література основна: [1,3]  Література допоміжна: [ 1-4]  Завдання на СР аспіранту :  - швидкість хімічної реакції;  - закон діючих мас;  - ентропія та її виробництво в хімічних реакціях.</p>
11.	<p>Термодинаміка випромінювання. Щільність енергії та інтенсивність теплового випромінювання. Рівняння стану. Ентропія і адіабатичні процеси. Теорема Віна. Хімічний потенціал теплового випромінювання. Речовина, випромінювання і нульовий хімічний потенціал (2 години).  Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [1-4]  Завдання на СР аспіранту :  - теорема Віна;  - хімічний потенціал випромінювання.</p>
12.	<p>Теорія стійкості Гіббса. Класична теорія стійкості. Теплова стійкість. Механічна стійкість. Стійкість і флуктуації числа молей (1 година).  Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 1- 4]  Завдання на СР аспіранту :  - стійкість за Гіббсом;  - теплова та механічна стійкість.</p>
13.	<p>Критичні явища і конфігураційна теплоємність. Стійкість і критичні явища. Стійкість і критичні явища в бінарних розчинах. Конфігураційна теплоємність (1 година).  Література, основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 1- 4 ]  Завдання на СР аспіранту :  - бінарні сплави;  - конфігураційна теплоємність.</p>
14.	<p>Стійкість і флуктуації, засновані на виробництві ентропії. Стійкість і виробництво ентропії. Термодинамічна теорія флуктуацій (2 години).  Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 1- 4 ]  Завдання на СР аспіранту :  - флуктуації у рідині;  - теорія флуктуацій.</p>
15.	<p>Нерівноважна термодинаміка. Основні положення. Локальна рівновага. Локальне виробництво ентропії. Рівняння матеріального балансу. Збереження енергії у відкритих системах. Рівняння балансу ентропії (1 година).  Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 1- 4 ]  Завдання на СР аспіранту :  - локальне виробництво ентропії;  - збереження енергії у відкритих системах.</p>
16.	<p>Нерівноважна термодинаміка. Лінійний режим. Лінійні феноменологічні закони. Співвідношення взаємності Онсагера і принцип симетрії. Термоелектричні явища. Дифузія. Хімічні реакції. Теплопровідність в анізотропних твердих тілах. Електрокінетичні явища. Співвідношення Сакса. Термодифузія (1 години).  Література основна: [1,2]  Література допоміжна: [ 1- 4]</p>



	<p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>феноменологічні закони в нерівноважній термодинаміці;</i></li> <li>- <i>теплопровідність у анізотропних твердих тілах;</i></li> <li>- <i>співвідношення Сакса.</i></li> </ul>
17.	<p>Нерівноважні стаціонарні стани і їх стійкість. Лінійний режим. Стаціонарні стани в нерівноважних умовах. Теорема про мінімум виробництва ентропії. Зміна виробництва ентропії в часі і стійкість стаціонарного стану (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>стаціонарність у нерівноважних умовах;</i></li> <li>- <i>ентропія і нерівноважність.</i></li> </ul>
18.	<p>Нелінійна термодинаміка. Системи, далекі від рівноваги. Загальні властивості виробництва ентропії. Стійкість нерівноважних стаціонарних станів. Лінійний аналіз (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>нерівноважні системи;</i></li> <li>- <i>стійкість нерівноважних систем.</i></li> </ul>
19.	<p>Дисипативні структури. Конструктивна роль незворотних процесів. Втрата стійкості, біфуркації і порушення симетрії. Хімічні коливання. Структурна нестійкість ( 2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 4 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>незворотні процеси;</i></li> <li>- <i>стійкість, біфуркації, хімічні коливання.</i></li> </ul>
20.	<p>Кінетика гомогенних хімічних реакцій. Формальна кінетика. Застосування кінетичної теорії газів. Теорія перехідного стану (2 години).</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 5 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>формальна кінетика;</i></li> <li>- <i>кінетична теорія газів.</i></li> </ul>
21.	<p>Ланцюгові реакції. Загальні характеристики ланцюгових реакцій. Засади кількісної теорії ланцюгових реакцій ( 2 години).</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <p>Література основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 5 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ланцюгові реакції;</li> <li>- кількісна теорія ланцюгових газів.</li> </ul>
22.	<p>Теорія гетерогенних реакцій. Зовнішня і внутрішня масопередачі. Кінетика кристалізації. Кінетика електродних процесів. Каталіз (2 години).</p> <p>Література, основна: [1,2] Література допоміжна: [ 1- 5 ]</p> <p>Завдання на СР аспіранту :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- гетерогенні реакції;</li> <li>- кінетика кристалізації;</li> <li>- електродні процеси.</li> </ul>

## 5. Практичні заняття<sup>1</sup>

Основним завданням циклу практичних занять є закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях.

№ з/п	Назва теми заняття
1.	<p><i>Практичне заняття № 1. Розрахунки процесів з використанням першого та другого законів термодинаміки.</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- розрахувати тепловий ефект для реакції <math>FeO + C = CO</math> та <math>FeO + C = CO_2</math> в діапазоні температур 300- 1600 °С;</li> <li>- визначити зміну ентропії для реакції <math>FeO + H_2</math> та <math>FeO + C = CO</math> в діапазоні температур 300- 1600 °С.</li> </ul>
2.	<p><i>Практичне заняття № 2. Розрахунки процесів з використанням третього закону термодинаміки.</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- визначити напрямок основних металургійних реакцій відновлення та окислення у доменній печі ;</li> <li>- зміна ентропії при протіканні основних реакцій в дуговій печі.</li> </ul>
3.	<p><i>Практичне заняття № 3. Розрахунки металургійних реакцій із визначенням енергії Гіббса.</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зміна енергії Гіббса при твердофазному відновленні заліза;</li> <li>- зміна енергії Гіббса при проходженні основних відновлювальних реакцій у сталеплавильному виробництві.</li> </ul>
4.	<p><i>Практичне заняття № 4. Стан ідеального газу. Рівняння Гіббса-Гельмгольца та межі його застосування.</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- застосування рівняння Гіббса – Гельмгольца для виявлення температурної залежності роботи, що здійснюється при проходженні процесу відновлення заліза в доменній печі.</li> </ul>
5.	<p><i>Практичне заняття № 5. Фазова рівновага та фазові діаграми. Правило фаз Гіббса та теорема Дюгема. Двокомпонентні й трикомпонентні системи.</i></p> <p><i>Завдання на СР аспіранту:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- правило фаз;</li> <li>- багатокомпонентні системи.</li> </ul>
6.	<p><i>Практичне заняття № 6. Розчинність та умови термодинамічної рівноваги. Функція змішування та надлишкова функція. Хімічна рівновага та закон діючих мас.</i></p>

<sup>1</sup> За наявності ПЗ

	<i>Завдання на СР аспіранту:</i> - термодинамічна рівновага; - закон діючих мас.
7.	<i>Практичне заняття № 7. Нерівноважний стаціонарний стан та стійкість.</i> <i>Завдання на СР аспіранту:</i> - визначання зв'язку між параметрами стану термодинамічної системи; - функції стану термодинамічної системи.
8.	<i>Практичне заняття № 8. Нелінійна термодинаміка. Дисипативні структури.</i> <i>Завдання на СР аспіранту:</i> - відкриті термодинамічні системи; - дисипативні структури.
9.	<i>Практичне заняття № 9. Кінетика гомогенних хімічних реакцій. Кінетика кристалізації.</i> <i>Завдання на СР аспіранту:</i> - хімічна кінетика, швидкість гомогенних реакцій; - швидкість кристалізації та швидкість зародження центрів кристалізації.

### 6. Семінарські заняття<sup>2</sup>

Семінарські заняття навчальним планом не передбачені.

### 7. Лабораторні заняття<sup>3</sup>

Лабораторні заняття навчальним планом не передбачені.

### 8. Самостійна робота<sup>4</sup>

Робочою навчальною програмою кредитного модуля «Термодинаміка і кінетика металургійних процесів» відведено 96 годин на самостійну роботу аспіранта, яка міститься в роботі над конспектом лекцій, монографіями, підручниками, науковими періодичними виданнями, базами наукової електронної інформації при підготовці до лекцій, 9 (18 год) практичних занять, 1 модульної контрольної роботи та при підготовці до іспиту. Розрахунок годин самостійної роботи проводиться за формулою:

$$T_{\text{СР Асп.}} = 1,0t_{\text{Л}} + 1t_{\text{ПЗ}} + \text{МКР} + \text{Екзамен},$$

де: Л – лекції; ПЗ – практичні заняття; МКР – модульні контрольні роботи; Екзамен.

$$T_{\text{СР Асп.}} = 1,0 \times 36 + 1,0 \times 18 + 12 + 30 = 96 \text{ годин}$$

### 9. Індивідуальні завдання<sup>5</sup>

Самостійна робота аспіранта включає підготовку до лекцій, практичних занять, 1 модульної контрольної роботи та екзамену. Розподілення часу на самостійну роботу наведено в додатку 1.

У самостійній роботі з дисципліни не передбачено виконання розрахункової роботи.

<sup>2</sup> За наявності СЗ

<sup>3</sup> За наявності ЛР, КП

<sup>4</sup> За умови виділення певної частки навчального матеріалу на самостійне вивчення.

<sup>5</sup> За наявності

## 10. Контрольні роботи<sup>6</sup>

Пропонується проведення 1 контрольної роботи на базі 1 модульної контрольної роботи після вивчення розділів 1- 5 дисципліни. Форма і методи контролю визначаються викладачем у залежності від конкретного часу аудиторних занять та кількості аспірантів.

Метою граничних контрольних робіт є визначення ступеня засвоєння аспірантом представленого в курсі матеріалу. При цьому визначаються основні знання, вміння та навички, придбані при вивченні аспірантами дисципліни.

### Контрольна робота, запитання:

- характеристики термодинамічних систем;
- природа теплоти, перший закон термодинаміки;
- другий закон термодинаміки й поняття ентропії;
- роль ентропії в хімічних реакціях;
- третій закон термодинаміки, тепловий закон Нернста;
- термодинаміка ідеальних газів;
- термодинаміка реальних газів;
- фазові переходи, фазова рівновага і фазові діаграми, правило фаз Гіббса;
- ідеальні і неідеальні розчини;
- швидкості хімічних реакцій, хімічна рівновага і закон діючих мас;
- ентропія і адиабатичні процеси, теорема Віна.
- теорія стійкості Гіббса;
- стійкість і флуктуації, засновані на виробництві ентропії;
- основні положення нерівноважної термодинаміки;
- локальна рівновага, локальне виробництво ентропії, рівняння матеріального балансу;
- збереження енергії у відкритих системах, рівняння балансу ентропії;
- нерівноважна термодинаміка, лінійний режим;
- дифузія, хімічні реакції, теплопровідність в анізотропних твердих тілах;
- нерівноважні стаціонарні стани і їх стійкість, лінійний режим;
- стаціонарний стан у нерівноважних умовах, теорема про мінімум виробництва ентропії;
- системи, далекі від рівноваги, загальні властивості виробництва ентропії;
- конструктивна роль незворотних процесів;
- втрата стійкості, біфуркації і порушення симетрії, хімічні коливання, структурна нестійкість.

## 11. Рейтингова система оцінювання результатів навчання<sup>7</sup>

Рейтингова система оцінювання результатів навчання наведена в додатку 1.

## 12. Методичні рекомендації

Робоча навчальна програма складена з урахуванням направлення підготовки фахівця. Для послідовного та повного вивчення та засвоєння матеріалу вона розбивається на 6 основних розділів. Особливу увагу слід приділяти не тільки засвоєнню конкретних теоретичних положень, а й практичному їх використанні. При складанні заліку аспіранти на основі одержаних ними знань повинні охарактеризувати методи підвищення ефективності металургійного виробництва.

---

<sup>6</sup> За наявності

### **13. Рекомендована література**

#### **13.1 Література базова:**

1. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ. Ю. А. Данилова и В. В. Белого - М.: Мир, 2002. - 461 с.
2. Семиохин И.А. Физическая химия: учебник. — Изд-во МГУ, 2001. — 272 с.
3. Жуховицкий А.А. и Шварцман Л.А. Физическая химия : учебник. – М.: «Металлургиздат».-1964.- 676 с.

#### **13.2 Література допоміжна:**

1. Киреев В.А. Краткий курс физической химии: учебник.-М.: «Химия». -1978.- 624 с.
2. Жуховицкий А.А. и Шварцман Л.А. Краткий курс физической химии : Учебник. – М.: «Металлургиздат».-1979.- 368 с.
3. Гамбург Ю. Д. Химическая термодинамика: учебное пособие.-М.: «Химия». - 2013.- 237 с.
4. Лямина Г.В., Лапова Т.В., Курзина И.В., Вайтулевич Е.А., Еремина А.Н. Химическая термодинамика: учебное пособие / под ред. Г.В. Ляминой. - Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. - 82 с.
5. Нарышкин Д. Г. Химическая термодинамика с Mathcad. Расчетные задачи: учебное пособие. - М.: РИОР:-ИНФРА-М. –2019. – 199с.

### Рейтингова система оцінки успішності аспірантів

з кредитного модуля (дисципліни): «Термодинаміка і кінетика металургійних процесів»,

ОНП 3/1

для спеціальності: 136 - Металургія

відділ: Плазмово-шлакової металургії

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	кредити	академічних годин	Лекції	Практика	Лаб. заняття	СР аспіранта	МКР	РР	Семестрова атестація
4	5	150	36	18	-	96	1	-	Екзамен

Рейтинг аспіранта з дисципліни<sup>8</sup> складається з балів, що він отримує за:

1. Письмове питання, яке кожен аспірант отримує у кінці кожного практичного заняття (час відповіді 15 хвилин).
2. Одна контрольна робота на базі 1 модульної контрольної роботи.
3. Відповідь при проведенні екзамену.

#### Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях.

**Ваговий бал – 2.** Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює  $2 \cdot 9 = 18$  балів (1-2 бали - відповідь на питання, 0 балів - відсутність відповіді)

2. Модульний контроль

**Ваговий бал 8.** Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює =24.

Контрольна робота складається з 3 питань, що максимально оцінюються по 8 бали кожне.

«відмінно» - 8-7 балів;

«добре» - 6-5 балів;

«задовільно» - 4- 3 балів;

«незадовільно» - 2 та менше балів.

3. Штрафні бали

ü Відсутність на лекції, практичному занятті без поважної причини **-1 бал**;

#### Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 18 + 24 = 42 \text{ балів}$$

При проведенні заліку аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних і одне практичне питання. Перелік питань наведено в робочій навчальній програмі. Кожне теоретичне питання оцінюється в 14 балів а практичне в 30 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно» - повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 14...12 балів;
- «добре» - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 11...9 балів;
- «задовільно» - неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 8 -7 балів;
- «незадовільно» - загалом неправильна відповідь, або її відсутність – 0 балів.

Система оцінювання практичного заняття:

- «відмінно» - повне безпомилкове розв'язування завдання – 30...25 балів;
- «добре» - повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями 24...20 балів;
- «задовільно» - завдання виконано з певними недоліками – 19...10 балів;
- «незадовільно» - завдання не виконано – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за іспитову контрольну роботу переводиться до іспитової оцінки згідно з таблицею:

Бали $R_D = R_C + R_E$	Залікова оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не зараховано розрахункову роботу або $R_C < 20$	Не допущено

**Програму розробили:**

Зав. відділом

д.т.н. чл-кор., проф.

  
(підпис)

В.О. Шаповалов

Зав. відділом

д.т.н. чл-кор., проф.

  
(підпис)

С.В. Ахонін

п.н.с. д.т.н.

  
(підпис)

Ф.К. Біктагіров

с.н.с. к.т.н.

  
(підпис)

В.В. Якуша